



(12) BẢN MÔ TẢ SÁNG CHẾ THUỘC BẰNG ĐỘC QUYỀN SÁNG CHẾ

(19) Cộng hòa xã hội chủ nghĩa Việt Nam (VN)
CỤC SỞ HỮU TRÍ TUỆ

(11)



1-0053643

(51)^{2021.01} G06T 7/11

(13) B

(21) 1-2022-04427

(22) 14/07/2022

(45) 25/11/2025 452

(43) 26/09/2022 414A

(73) Đại học Bách khoa Hà Nội (VN)

Số 1, Đại Cồ Việt, Hai Bà Trưng, Hà Nội

(72) Hán Trọng Thanh (VN); Trần Anh Vũ (VN).

(54) PHƯƠNG PHÁP MÔ HÌNH HÓA ẢNH SỐ SỬ DỤNG MẠNG PHỨC ỨNG
DỤNG ĐỂ PHÂN VÙNG VÀ TÌM BIÊN

(21) 1-2022-04427

(57) Sáng chế đề cập tới việc mô hình hóa ảnh số sử dụng mạng phức nhằm phục vụ cho ứng dụng phân vùng và tìm biên ảnh. Phương pháp cụ thể đề xuất gồm hai phần. Phần thứ nhất là mô hình hóa ảnh thành một mạng phức bằng cách chia bức ảnh thành các cửa sổ vuông tương ứng với các nút và đánh giá liên kết giữa các nút gần nhau dựa trên hai yếu tố là entropy và cường độ trung bình. Phần thứ hai là phần phân tích tính chất của mạng phức dựa trên số độ của mỗi nút và dựa vào thông số này để xác định nút nào là nút chứa biên. Một phương pháp phân cụm được đề xuất để giải quyết vấn đề này, cụ thể các nút chứa biên, các nút không nằm sát biên và các nút nằm sát biên được phân thành ba cụm tương ứng. Kết quả thu được từ phương pháp có thời gian xử lý thấp hơn và kết quả tìm biên rõ nét hơn so với ở các công trình nghiên cứu trước.

Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế là phương pháp mô hình hóa ảnh sử dụng mạng phức ứng dụng trong phân vùng và tìm biên ảnh. Lĩnh vực của sáng chế được ứng dụng trong các ứng dụng phát hiện đối tượng và nhận dạng như các hệ thống giám sát và xử lý ảnh trong y tế...

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Thông tin của một bức ảnh được thể hiện không chỉ bởi cường độ các pixel riêng lẻ mà còn bởi tương quan cường độ giữa các pixel trong các khu vực xung quanh. Như vậy ảnh số có thể được biểu diễn dưới dạng một mạng phức với các nút là các điểm ảnh có các kết nối với các điểm ảnh lân cận.

Để thiết lập một mạng phức cần xác định rõ hai yếu tố, đó là cách các nút được định nghĩa và điều kiện tồn tại liên kết giữa chúng. Với một bức ảnh số được tạo nên từ ma trận các điểm ảnh (pixel) thì khi mô hình hóa dưới dạng mạng phức, các nút của mạng phức này có thể là một điểm ảnh hoặc một tổ hợp các điểm ảnh. Và điều kiện để kết nối giữa các nút có thể dựa trên các thông số như vị trí, cường độ hoặc là lượng thông tin (entropy) của các nút. Thông tin về liên kết giữa các nút trong mạng phức được biểu diễn dưới dạng ma trận vuông được gọi là ma trận lân cận có kích thước một chiều là số nút của ma trận. Mạng phức được biểu diễn dưới dạng toán học bằng một ma trận lân cận để mô tả về các kết nối trong mạng. Một thông số quan trọng của mạng phức được sử dụng để xác định đường biên trong ứng dụng này là độ của mỗi nút. Độ của mỗi nút thể hiện cho số kết nối từ một nút đến các nút khác trong mạng.

Với ứng dụng trong phân miền ảnh, một nghiên cứu mô hình hóa bức ảnh thành mạng phức đã được thực hiện bởi L. da Fontoura Costa và cộng sự được công bố trong bài báo “Complex Networks, Simple Vision” xuất bản bản điện tử trên arXiv:cond-mat/0403346, tháng 3 năm 2004. Một mạng phức được thiết lập với các nút là các điểm ảnh và được đặc trưng bởi vị trí và cường độ của chúng. Một liên kết được tạo thành nếu cường độ sai khác giữa hai nút nhỏ hơn một lượng nhất định. Hạn chế của phương

pháp này là mạng phức mô hình hóa được gồm một số lượng lớn các nút và để trích xuất thông tin đặc trưng về một vùng cụ thể yêu cầu khối lượng tính toán rất lớn.

Với cùng ứng dụng, Andre L. Barbieri và cộng sự đã công bố kết quả nghiên cứu trong bài báo “An entropy-based approach to automatic image segmentation of satellite images” trên tạp chí “Physica A: Statistical Mechanics and its Applications” (Bài số 3, trang 512 – 518, số xuất bản 390). Các bức ảnh từ vệ tinh được chia thành các cửa sổ vuông. Các cửa sổ này được phân loại thành các khu vực như nông thôn, thành thị, vùng nước dựa trên ba giá trị kênh màu entropy. Ở phương pháp này, đơn vị xét là các cửa sổ tập hợp các pixel thay vì từng pixel riêng lẻ nhằm đơn giản hóa quá trình tính toán cũng như làm nổi bật đặc trưng của từng vùng ảnh nhất định. Tuy nhiên các cửa sổ được xem xét một cách riêng biệt và bỏ qua mối tương quan với các cửa sổ bên cạnh.

Tại hội nghị quốc tế IEEE – ICCE được tổ chức tại Tỉnh Thừa Thiên Huế, năm 2018, Nguyễn Văn Giang và cộng sự đã công bố phương pháp tìm biên ảnh sử dụng mạng phức. Ở phương pháp này bức ảnh đầu vào được chia thành các cửa sổ vuông và mỗi cửa sổ này được xem là một nút của một mạng phức. Các nút này được đặc trưng bởi ba yếu tố: Entropy, cường độ trung bình và vị trí. Một kết nối giữa hai nút được xác định nếu sự sai khác các yếu tố trên giữa chúng nhỏ hơn một lượng nhất định. Phương pháp này đã kết hợp được ưu điểm của hai nghiên cứu vừa kể trên trong khi khắc phục được điểm yếu của mỗi phương pháp. Tuy nhiên vẫn tồn tại một số hạn chế nhất định. Phương pháp này thiết lập ma trận lân cận bằng cách tạo ra ba ma trận thành phần đại diện cho ba yếu tố kể trên. Điều này gây rất tốn tài nguyên và thời gian xử lý. Đặc biệt khi kích thước cửa sổ giảm nhằm tăng độ sắc nét cho đường biên tìm được. Sau khi xác định được ma trận lân cận, độ của mỗi nút (số kết nối với các nút khác) được xác định từ ma trận lân cận và là cơ sở để đánh giá đường biên. Cụ thể khi độ của nút nhỏ hơn một ngưỡng nhất định thì cửa sổ tương ứng sẽ chứa đường biên. Tuy nhiên việc đánh giá để xác định ngưỡng này là một phân tích không triệt để, vẫn tồn tại một số trường hợp ngoại lệ khi mà nút ở biên vẫn có số độ cao do sự sai khác không lớn giữa hai miền cạnh nhau.

Đề xuất ở sáng chế này có ưu điểm đó là khi mô hình hóa mạng phức thì thuật toán không cần phải xét đến ma trận vị trí cũng như tạo ra các ma trận thành phần trước khi thiết lập ma trận lân cận như ở phương pháp vừa kể đến. Điều này làm giảm

đáng kể tài nguyên sử dụng và thời gian xử lý khi mô hình hóa. Ưu điểm thứ hai là ưu điểm ở bước xác định các nút chứa biên sau khi đã mô hình hóa ảnh dưới dạng một mạng phức. Thay vì sử dụng ngưỡng độ cố định để phân biệt giữa các nút chứa biên và các nút không chứa biên, sáng chế đề xuất phương pháp phân cụm bằng cách học không giám sát để xác định hai nhóm này. Điều này giúp cải thiện tính linh hoạt của ngưỡng độ khi áp dụng với các đối tượng ảnh khác nhau. Nhược điểm của đề xuất này đó là để quá trình phân cụm đạt hiệu quả cao thì khoảng độ khả dĩ của mỗi nút phải đủ lớn và việc xét thêm các liên kết nhằm tăng khoảng độ sẽ làm tăng thời gian xử lý. Tuy nhiên thời gian xử lý tăng thêm này là nhỏ so với thời gian xử lý giảm được ở ưu điểm thứ nhất.

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Mục đích của chế này là đề xuất phương pháp mô hình hóa bức ảnh số dưới dạng một mạng phức và phân cụm các nút để phục vụ cho ứng dụng phân vùng và tìm biên để khắc phục nhược điểm trên.

Dữ liệu đầu vào của quá trình mô hình hóa là bức ảnh số bao gồm tập hợp các pixel có trên ảnh. Dữ liệu đầu ra của quá trình mô hình hóa là một mạng phức mang thông tin về đặc trưng ảnh, đặc biệt là thông tin về đường biên có trong ảnh. Bức ảnh được chia thành các cửa sổ vuông nhỏ, mỗi cửa sổ vuông này sẽ tương ứng với một nút. Liên kết giữa các nút lân cận dựa trên sự tương đồng về lượng thông tin (entropy), cường độ trung bình của các cửa sổ tương ứng. Khi đã thu được một mạng phức được thiết lập dựa trên bức ảnh số, bước tiếp theo là bước xác định đường biên dựa vào những đặc tính của mạng phức này. Độ của một nút thường được sử dụng để đánh giá thông tin về đường biên.

Các phương pháp mô hình hóa hiện tại tồn tại một số hạn chế về tài nguyên sử dụng, thời gian tính toán cũng như thiếu sự linh hoạt vì sử dụng các ngưỡng cố định để xác định đường biên.

Sáng chế đề xuất phương pháp mô hình hóa đơn giản về mặt tính toán và sử dụng phương pháp phân cụm thay vì một ngưỡng cố định để phân biệt nút chứa biên. Tính mới của sáng chế được thể hiện trong một số dấu hiệu sau:

- Bức ảnh sau khi được chia thành các cửa sổ và tính entropy và cường độ của mỗi cửa sổ hay mỗi nút này, sáng chế đề xuất chỉ xét các liên kết xung quanh một nút thay vì xét toàn bộ liên kết với các nút còn lại trong mạng. Nghĩa là chỉ một phần nhỏ ma trận lân cận được xét thay vì toàn bộ ma trận như ở các phương pháp trước. Điều này làm giảm thời gian tính toán cũng như tài nguyên sử dụng.
- Phương pháp này đề xuất phương pháp xác định nút chứa biên bằng phân cụm dựa trên số độ của bức ảnh thay vì sử dụng một ngưỡng cố định như ở các phương pháp trước. Phương pháp phân cụm được sử dụng là phương pháp *K – mean*. Phương pháp này là một phương pháp học không giám sát và sẽ tự động gán nhãn dữ liệu về các cụm khác nhau.

Về cơ bản thuật toán *k – means* có thể được tóm tắt qua 4 bước sau:

- Chọn k tâm cụm, có thể ngẫu nhiên hoặc dựa theo một phương pháp suy nghiệm (heuristic).
- Gán các điểm vào cụm mà nó có “khoảng cách” gần nhất với tâm cụm đó.
- Tính lại tâm cụm bằng cách lấy vị trí trung bình của các điểm trong cụm.
- Lặp lại hai bước trên cho đến khi đạt được sự hội tụ (nghĩa là không có điểm nào thay đổi cụm sau mỗi lần lặp nữa).

Ở ứng dụng này, “khoảng cách” là sự khác biệt bình phương về số độ của nút với số độ ở đây được xác định chính là tâm cụm. Phương pháp phân cụm này có ưu điểm là chắc chắn sẽ hội tụ sau một số lần lặp và nhược điểm là chất lượng kết quả phụ thuộc vào tập hợp các tâm cụm ban đầu và giá trị k . Tuy nhiên ở sáng chế này chỉ số k dễ dàng được xác định là 2 (cụm nút chứa biên và cụm nút không chứa biên) hoặc 3 (cụm nút chứa biên, cụm nút nằm cạnh biên và cụm nút không nằm cạnh nút chứa biên, được minh họa ở hình 3), và do giá trị k là nhỏ nên tập hợp các cụm ban đầu không ảnh hưởng nhiều đến kết quả thuật toán.

Nhờ những cải tiến về thời gian xử lý, tài nguyên sử dụng và tính linh hoạt với nhiều loại ảnh khác nhau, phương pháp có thể được áp dụng rộng rãi hơn với các ứng dụng đối theo đối tượng trong hệ thống camera giám sát hay hỗ trợ chẩn đoán đối các đối tượng trong ảnh y tế.

Mô tả vắn tắt các hình vẽ

- Hình 1 là sơ đồ khối của phương pháp đề xuất gồm 4 bước chính.
- Hình 2 mô tả Cụm nút xét, với kích thước cụm xét tổng quát là $w \times w$ (w là số lẻ). Cửa sổ này được đánh giá các yếu tố về cường độ trung bình và entropy để xác định liên kết với $w^2 - 1$ cửa sổ lân cận. Kích thước cụm trong hình được minh hoạ là 5×5 nút trên nền bức ảnh số được chia thành các nút.
- Hình 3 minh họa kết quả phân vùng sử dụng phương pháp $k - means$ với số cụm được lựa chọn $k = 3$ thể hiện qua các cửa sổ màu xanh với ba cụm khác nhau trong ảnh: cụm cửa sổ chứa biên, cụm cửa sổ nằm sát cửa sổ chứa biên và cụm cửa sổ nằm sâu trong miền.

Mô tả chi tiết sáng chế

Sáng chế đề xuất phương pháp triển khai được mô tả như ở hình 1. Trong đó hình 1 biểu diễn sơ đồ khối của phương pháp gồm 4 bước, 3 bước đầu nhằm mô hình hóa mạng phức và bước cuối cùng để trích xuất thông tin từ mạng phức này.

Cụ thể, quá trình mô hình hoá mạng phức này bao gồm các bước:

- Bước 1: Chia ảnh đầu vào thành các cửa sổ vuông kích thước $d \times d$ (với d là số điểm ảnh – pixel). Gọi mỗi cửa sổ vuông này là một nút. Bức ảnh kích thước $h_1 \times h_2$ (số pixel theo hàng và cột). Như vậy tổng số nút của bức ảnh là $N = \left\lfloor \frac{h_1}{d} \right\rfloor \times \left\lfloor \frac{h_2}{d} \right\rfloor$ nút.
- Bước 2: Tính lượng thông tin (entropy) và cường độ của mỗi nút.
 - **Cường độ của nút**

Cường độ trung bình của từng nút được xác định theo công thức:

$$m = \frac{1}{d^2} \sum_{i=1}^d \sum_{j=1}^d I_{ij} \quad (1)$$

Với m là cường độ trung bình của nút; d là kích thước nút; I_{ij} là cường độ của điểm ảnh ở hàng i và cột j . Cường độ của một điểm ảnh I_{ij} được lượng tử hoá bằng n bit, tức là giá trị của mỗi điểm ảnh có thể nằm trong khoảng từ 0 đến $(2^n - 1)$. Ví dụ, cường độ của điểm ảnh trong một bức ảnh thông thường được lượng tử hoá bằng 8 bit hay giá trị cường độ này có thể nằm trong khoảng $2^8 = 256$ mức (từ 0 tới 255).

- *Lượng thông tin (Entropy) của nút*

Trong một bức ảnh tự nhiên thì cường độ biến thiên giữa các pixel gần kề là bé. Để giảm lượng tính toán và tăng tốc độ xử lý, cường độ của các điểm ảnh thay vì được chia thành 2^n mức như ban đầu thì sẽ được phân vào 2^{n-m} bước, tức là lần lượt nhóm 2^m mức thành 1 bước. Việc chia thành các bước cho phép đánh giá cường độ biến thiên trong cửa sổ bằng entropy trung bình. Khi mà giá trị bước (2^m) tăng thì sự khác biệt entropy giữa các nút gần kề sẽ giảm.

Xác suất giá trị cường độ nút rơi vào bước thứ z (b_z) là $p(z)$. Xác suất này được tính như công thức (2), khi các điểm ảnh có cường độ trải từ 0 đến $(2^n - 1)$ được nhóm thành các bước với độ lớn của mỗi bước là 2^m .

$$p(z) = \sum_{i=1}^d \sum_{j=1}^d p_{ij}(z) \{I_{ij} \in b_z\} \quad (2)$$

Với I_{ij} là giá trị cường độ tại pixel hàng i và cột j ; $p_{ij}(z)$ là xác suất để giá trị cường độ I_{ij} ở bước b_z ; và d là kích thước cửa sổ.

Lượng thông tin của nút được xác định theo khái niệm Shannon Entropy và mang ý nghĩa về sự biến thể của cường độ các pixel trong nút này. Giá trị này được xác định theo công thức:

$$e = - \sum_z p(z) \log p(z) \quad (3)$$

- Bước 3: Xác định số độ của mỗi nút. Để xác định độ của mỗi một nút, xét một cửa sổ vuông kích thước $w \times w$ nút (w là số lẻ). $w \times w$ nút này gồm một nút cần xét nằm ở trung tâm và $(w \times w - 1)$ nút còn lại lần lượt là các nút trung tâm của các cửa sổ khác có cùng kích thước $w \times w$. Số độ của nút cần xét là số kết nối từ nút này tới $(w \times w - 1)$ nút tương ứng với $(w \times w - 1)$ cửa sổ đó. Như vậy một nút có thể có số độ nằm trong khoảng từ 0 đến $(w \times w - 1)$. Để tồn tại kết nối từ nút xét đến một trong $(w \times w - 1)$ nút còn lại thì sự sai khác giữa lượng thông tin (entropy) và cường độ giữa hai cửa sổ tương ứng nhỏ hơn một ngưỡng nhất định. Hình 2 minh hoạ với $w = 5$ thì tổ hợp sẽ gồm 25 cửa sổ.

- Bước 4: Thay vì sử dụng ngưỡng cố định, sáng chế này đề xuất phương pháp phân cụm để xác định ra ngưỡng động thay đổi phụ thuộc vào phân bố số độ các nút trong mạng ứng với các bức ảnh khác nhau. Phương pháp phân cụm được sử dụng là phương pháp k –means. Phương pháp này là một phương pháp học không giám sát và sẽ tự động gán nhãn dữ liệu về các cụm khác nhau. Số cụm có thể được chọn là $k = 2$ ứng với cụm nút chứa biên và cụm nút không chứa biên. Tuy nhiên nhận xét thấy rằng các cửa sổ nằm sát các cửa sổ chứa biên sẽ có số độ ở mức trung bình do vẫn có kết nối mạnh với các nút xung quanh ở các hướng khác. Như vậy số cụm lựa chọn có thể nâng lên thành $k = 3$ ứng với cụm nút chứa biên, cụm nút sát biên và cụm nút nằm sâu trong miền, để có cái nhìn chi tiết hơn về kết quả phân loại. Cụ thể một miền sẽ bao gồm các nút nằm sát biên bao quanh các nút nằm sâu trong miền.

Cụ thể, phương pháp phân cụm này được triển khai như sau:

- $X = [x_1; x_2; \dots; x_n]$, $Y = [y_1; y_2; \dots; y_n]$, $C = [c_1, c_2, \dots, c_k]$ lần lượt là tập số độ của mỗi nút, tập chỉ số tâm cụm tương ứng với mỗi nút và tập các tâm cụm. Với $k = 3$ thì ba tâm cụm được chọn lần lượt là số độ tối thiểu, số độ tối đa và trung bình số độ.
- Gán các nút với các tâm cụm khác nhau, nút thứ i được gán với tâm cụm c_j theo công thức:

$$y_i = \arg \min_j \|x_i - c_j\|^2 \quad (4)$$

- Tính lại các tâm cụm :

$$c_j = \frac{\sum_{i=1}^n 1\{y_i = j\}x_i}{\sum_{i=1}^n 1\{y_i = j\}} \quad (5)$$

- Lặp lại hai bước trên cho đến khi đạt được sự hội tụ (nghĩa là không có nút nào thay đổi cụm sau mỗi lần lặp nữa hay không có sự thay đổi ở tập Y)

Với cách triển khai như trên, cụm nút với tâm cụm ban đầu là số độ tối thiểu sẽ là cụm các nút chứa biên, cụm các nút với tâm cụm ban đầu là số độ tối đa sẽ tương ứng với cụm các nút nằm sâu trong miền và cuối cùng là cụm các nút nằm sát biên. Như vậy nút thứ i là nút chứa biên nếu $y_i = 1$.

- Điểm mới của sáng chế là mô hình hoá mạng phức dựa trên việc chỉ xét các liên kết xung quanh một nút thay vì xét toàn bộ liên kết với các nút còn lại trong mạng, nhằm

xây dựng mạng phức vô hướng và không trọng số. Điều này có nghĩa là chỉ một phần ma trận lân cận được xét. Một ma trận kích thước nhỏ hơn chứa một phần ma trận lân cận nhưng có chức năng như một ma trận lân cận được thiết lập và xử lý. Cụ thể, ở phương pháp này mỗi nút chỉ có thể liên kết với $(w \times w - 1)$ nút cạnh bên (với kích thước cụm cửa sổ xét $(w \times w)$). Tổng số nút là $N = \left\lfloor \frac{h_1}{d} \right\rfloor \times \left\lfloor \frac{h_2}{d} \right\rfloor$ lớn hơn nhiều so với $(w \times w - 1)$ (do với kích thước bức ảnh h_1, h_2 cỡ hàng nghìn, kích thước cửa sổ d cỡ đơn vị). Như vậy thì ma trận được xử lý sẽ có kích thước nhỏ hơn nhiều là $(w \times w - 1) \times N$ thay vì $N \times N$ như ở ma trận lân cận. Thay đổi này trực tiếp cải thiện tài nguyên sử dụng khi xử lý và đồng thời cũng giảm thời gian xử lý khi xét vòng lặp kép ở bước thứ ba của phương pháp (hình 1).

- Ngoài ra phương pháp còn đề xuất phương pháp xác định nút chứa biên bằng cách phân cụm chỉ số độ của bức ảnh thay vì sử dụng một ngưỡng cố định như ở các phương pháp trước. Số độ của mỗi nút trong mạng vừa thu được sẽ được sử dụng để trích xuất thông tin về đường biên từ mô hình mạng phức. Theo như phân tích ở trên, các nút có số độ cao thường ứng với các cửa sổ nằm sâu trong miền và các nút có số độ thấp thường ứng với các cửa sổ chứa biên hay những cửa sổ nằm giữa các miền. Ở đây có thể tiến hành phân tích để xác định ra một ngưỡng cố định nhằm phân tách ra các cửa sổ chứa biên như ở nghiên cứu trước. Tuy nhiên phân tích này là không triệt để và ngưỡng này hoàn toàn có thể thay đổi theo các bức ảnh khác nhau, đặc biệt khi khoảng độ khả dĩ của một nút lớn. Việc tăng khoảng độ khả dĩ sẽ làm tăng thời gian tính toán nhưng sẽ cho ra kết quả mô hình hóa chi tiết hơn.

Hiệu quả của sáng chế

Hiệu quả của sáng chế khi áp dụng phương pháp vào bộ dữ liệu Brodatz texture được minh họa và thể hiện ở hình 3.

Việc áp dụng phương pháp đề xuất của sáng chế cho phép giảm thời gian xử lý và tài nguyên sử dụng khi tìm biên đối với hướng tiếp cận sử dụng mạng phức, đồng thời tăng tính linh hoạt của phương pháp khi xác định nút chứa biên khi không sử dụng ngưỡng độ cố định mà sử dụng phương pháp phân vùng để tìm ngưỡng độ động đối với các bức ảnh khác nhau. Một nhược điểm của hướng giải quyết sử dụng phân vùng đó là phải xét một ngưỡng độ rộng hơn để có thể thực hiện phân vùng, tuy nhiên việc mở rộng

số độ khả dĩ cũng làm kết quả phân vùng chi tiết hơn và đáng tin cậy hơn so với các phương pháp trước đây.

YÊU CẦU BẢO HỘ

1. Phương pháp mô hình hóa ảnh số sử dụng mạng phức ứng dụng để phân vùng và tìm biên bao gồm các bước:

bước 1: chia ảnh đầu vào thành các nút tương ứng với các cửa sổ vuông kích thước $d \times d$; với bức ảnh có kích thước $h_1 \times h_2$, tổng số nút được tạo thành là:

$$N = \left\lfloor \frac{h_1}{d} \right\rfloor \times \left\lfloor \frac{h_2}{d} \right\rfloor;$$

bước 2: tính lượng thông tin (entropy) và cường độ mỗi nút, trong đó:

- cường độ trung bình của từng nút được xác định theo công thức:

$$m = \frac{1}{d^2} \sum_{i=1}^d \sum_{j=1}^d I_{ij};$$

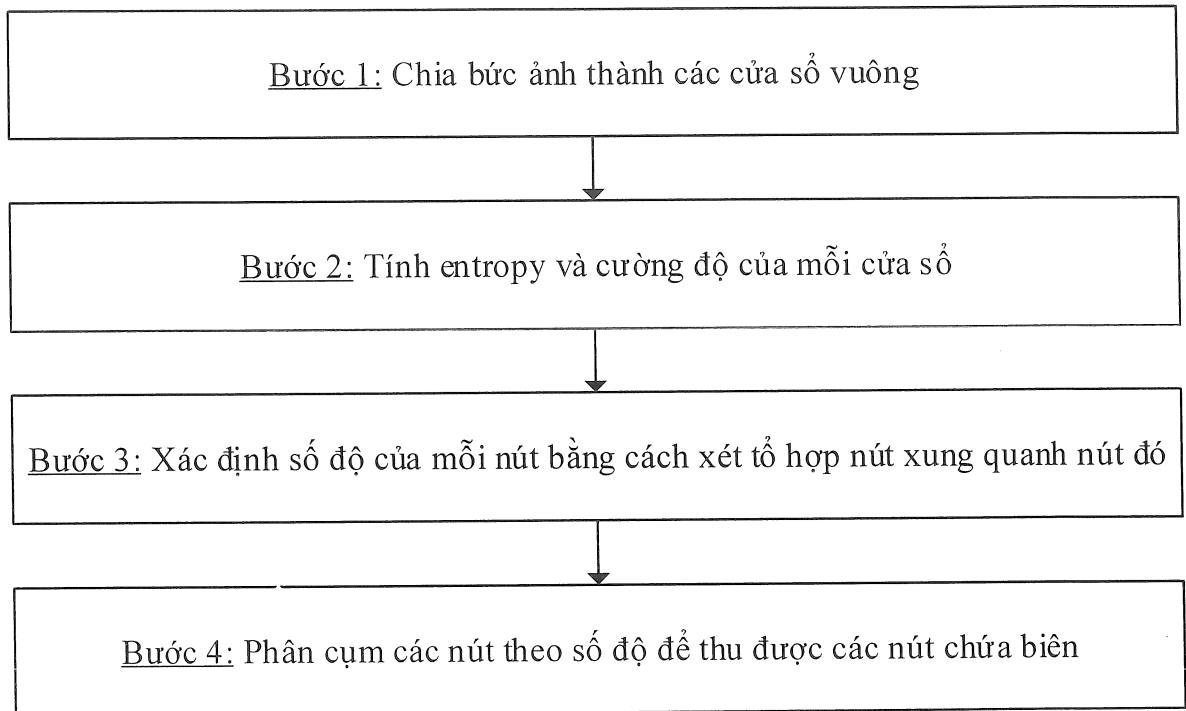
- lượng thông tin (entropy) của cửa sổ được xác định theo công thức:

$$e = - \sum_z p(z) \log p(z);$$

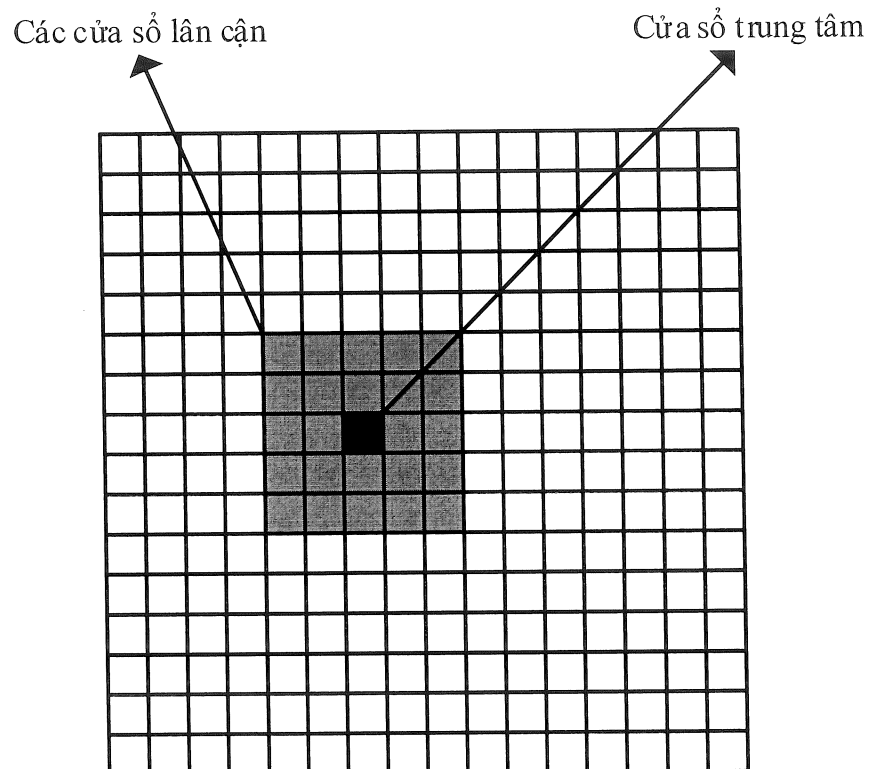
bước 3: xác định số độ của mỗi nút; xét một tổ hợp vuông kích thước $w \times w$; số độ của nút cần xét là số kết nối từ nút trung tâm tới $(w \times w - 1)$ nút trung tâm tương ứng với $(w \times w - 1)$ cửa sổ đó;

bước 4: phân cụm các nút theo số độ để thu được các nút chứa biên sử dụng phương pháp k-means.

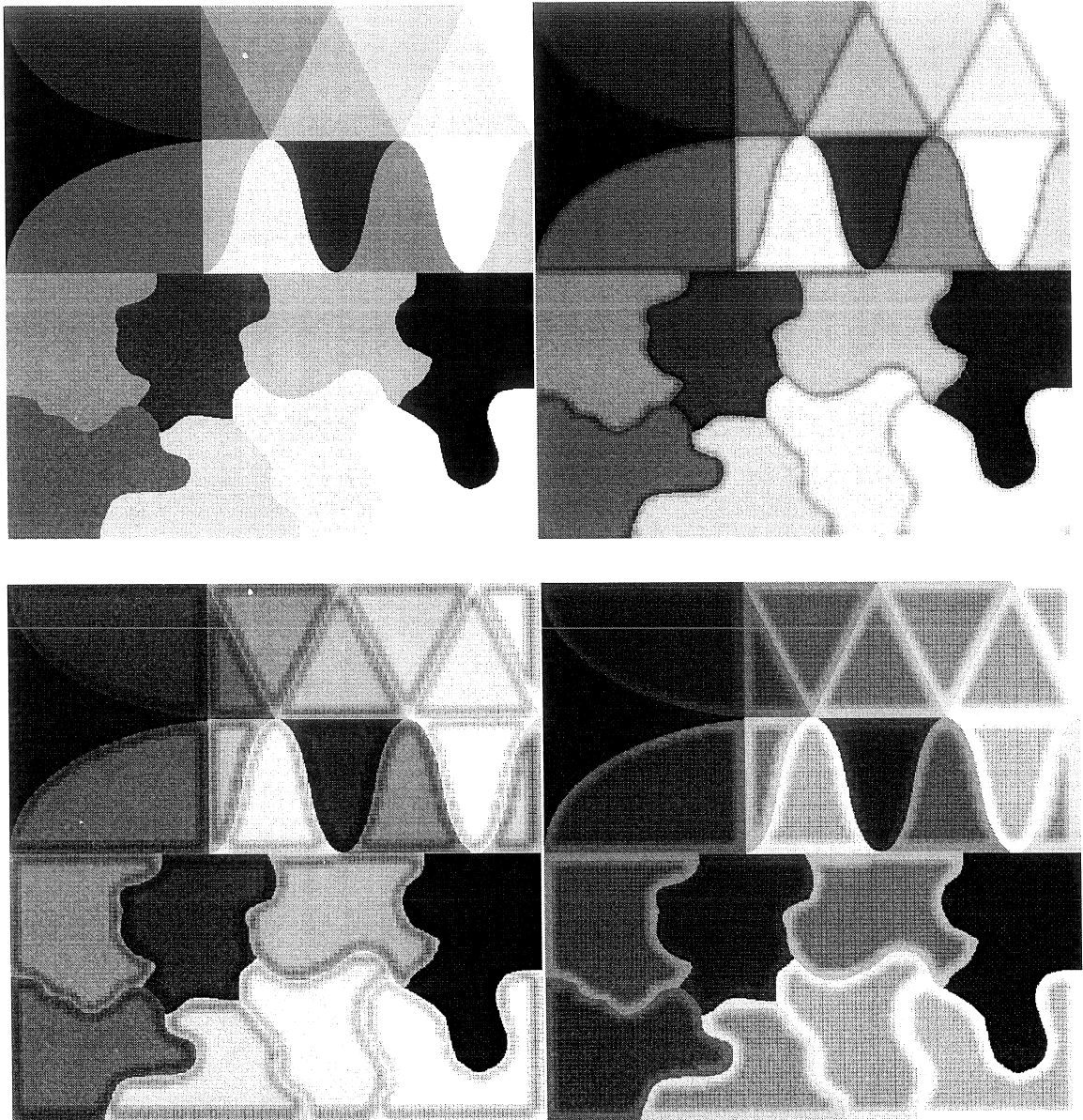
2. Phương pháp theo điểm 1, trong đó bước xác định nút ở biên bằng phân cụm chỉ số độ của bức ảnh sử dụng thuật toán k-means với số cụm là 3 hay $k = 3$; ba cụm này tương ứng với ba loại cửa sổ với tính chất khác nhau: cửa sổ nằm sâu trong miền, cửa sổ chứa biên và cửa sổ nằm sát cửa sổ chứa biên.



Hình 1: Sơ đồ khối phương pháp đề xuất



Hình 2: Cụm cửa sổ xét với kích thước cụm xét $w \times w$ được chọn là 5×5 trên nền bức ảnh số được chia thành các cửa sổ vuông



Hình 3: Minh họa kết quả phân vùng